

А.С. МОРГУН, Д.В. ЗАПИСОВ, А.В. КОЛЕСНИК

**ПРОГНОЗУВАННЯ ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ
БУРОНАБИВНИМИ ПАЛЯМИ за МГЕ**

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Питання реконструкції та підсилення існуючих будівель в умовах щільної міської забудови на сьогоднішній день є актуальним. Опір стрічкового пальового фундаменту (СПФ) вертикальним навантаженням викликає найбільше дискусій. В роботі розглянуто можливість підсилення існуючого стрічкового пальового фундаменту буронабивними палями С-4-30, С-4-35.

Зростання обсягів реконструкції та реставрації об'єктів потребує збереження довготривалої минулої забудови споруд і є досить важливим і актуальним питанням формування міськобудівного середовища.

Попередження значних осідань фундаментів на просадкових ґрунтах має йти по двох напрямках: ліквідація причин просадки (призупинка підняття ґрунтових вод, ремонт комунікацій) та підсилення існуючих фундаментів (розширення фундаментів, підведення паль, зміцнення ґрунтів). В роботі розглянуто варіант підведення буронабивних паль С-4-30, С-4-35, що викликало необхідність визначення їх несучої спроможності.

Підсилення фундаментів є актуальною задачею сьогодення та викликає необхідність робити прогнози їх напружено-деформованого стану (НДС). Значна стисливість ґрунтів при навантаженнях ставить на перше місце по значимості розрахунків основ за деформаціями. Найбільш важлива стадія роботи основ (експлуатаційна) випадає з точки зору нормативних документів, в основі яких для розрахунку НДС основ покладено модель теорії пружності. Тому використана в роботі модель має новизну та актуальність.

Ключові слова: напружено-деформований стан, підсилення фундаментів, числовий метод граничних елементів.

Abstract . The issue of reconstruction and strengthening of existing buildings in the conditions of dense urban development is currently relevant. The resistance of strip pile foundation (SPF) to vertical loads is the most controversial. The paper considers the possibility of strengthening the existing tape pile foundation with bored piles

S-4-30, S-4-35.

The increase in the volume of reconstruction and restoration of objects requires the preservation of the long-term past construction of buildings and is a rather important and urgent issue of the formation of the urban construction environment.

Prevention of significant subsidence of foundations on subsiding soils should proceed in two directions: elimination of the causes of subsidence (stopping the rise of groundwater, repair of communications) and strengthening of existing foundations (expansion of foundations, driving of piles, strengthening of soils). The paper considers the option of setting up bored piles S-4-30, S-4-35, which made it necessary to determine their bearing capacity.

Strengthening foundations is an urgent task today and calls for the need to make forecasts of their stress-strain state (STS). The significant compressibility of soils under loads puts the calculation of foundations by deformations in the first place in terms of importance. The most important stage of foundation work (operational) is from the point of view of regulatory documents, which are based on the model of the theory of elasticity for the calculation of VAT on foundations. Therefore, the model used in the work is new and relevant.

Keywords: stress-strain state, foundation reinforcement, numerical method of boundary elements

Тенденція до збільшення будівельних робіт як по спорудженню, так і по реконструкції будівель та споруд потребує розвитку та напрацювання сучасних методів розрахунку системи «основа-споруда». Необхідність розрахункової моделі відчувається вже зараз.

Математична модель – матеріально реалізована система, яка адекватно відображає предмет дослідження і здатна замінити його так, що вивчення моделі сприяє отриманню нової інформації про цей предмет. Головна перевага моделювання – можливість охопити систему цілісно.

При високі деформативності ґрунтової основи і наявності підземних вод підсилення було проведено введенням додаткових буронабивних паль, які працюють як висячі. Таке підсилення призупиняє розвиток осідань будівлі, яка реконструюється. Буронабивна паля – попередня проходка скважини аж до поверхні задовільного несучого шару.

Використана в роботі модель [1] визначення несучої спроможності буронабивних паль підсилення дозволяє здійснити комплексний науково-обґрунтований підхід до постановки і розв'язку практичної задачі більш ефективного використання властивостей ґрунтових масивів за рахунок урахування їх роботи в нелінійній стадії. Резерви пружно-пластичної зони дозволяють збільшити навантаження на фундамент.

Для розв'язання нелінійної задачі механіки ґрунтів в моделі використовується квазілінійна постановка та залучено метод пружних розв'язків О. А. Іллюшина [2]. Прийнятність малих переміщень та нескінченно малих деформацій веде до можливості використання лінійної теорії і, як наслідок, до правомірності принципу суперпозицій.

Насьогодні найбільш прогресивними і точними є використання рішень пружно-пластичної задачі механіки суцільних середовищ та дилатансійної теорії дисперсного ґрунту [2,3], яка реально відображає характер деформування ґрунтів.

Математична модель технічного об'єкта на мікрорівні – система диференціальних рівнянь в частинних похідних, точне рішення якої можна отримати лише в небагатьох часткових випадках, тому будується дискретна модель.

В роботі використано числовий метод граничних елементів (МГЕ) [4] розв'язку граничної задачі, в якому суцільне середовище з нескінченною кількістю ступеней вільності апроксимується сукупністю скінчених елементів, що пов'язані між собою у вузлових точках і мають скінчену кількість ступеней вільності.

В числовому МГЕ розв'язку граничної задачі основним розрахунковим рівнянням є інтегральне рівняння, отримане К. Бреббія [4] і яке є аналогом системи 15 диференціальних рівнянь (статичних рівнянь, геометричних, фізичних):

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij,j} + b_j &= 0 \\ \varepsilon_{ij} &= \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \\ \sigma_{ij} &= C_{ijkl}\varepsilon_{kl} \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_{ij}(\xi)u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x)u_j(x)d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x)p_j(x)d\Gamma(x), \quad (1)$$

де u -заданий вектор переміщень на границі фундаментної конструкції;
 p - шуканий вектор напруг на границі;

u^*, p^*, σ^* - ядра граничного рівняння (1) – рішення Р. Міндліна для переміщень, напружень та похідних від напружень, що відповідають одиничним взбуруючим впливам ($P=1$) в півпросторі [4];

Геомеханіка базується [2] на фундаментальних положеннях механіки суцільних середовищ, та ці положення є необхідними, але не достатніми для геомеханіки. Необхідно до рівнянь рівноваги і геометричних рівнянь добавляти фізичні рівняння (*рівняння стану*) які експериментально встановлюють залежність $\sigma - \varepsilon$ чи $\sigma - \varepsilon'$.

Рішення змішаної задачі (яка розв'язана) має задовільняти в пружній і пластичній областях одним і тим же рівнянням рівноваги, геометричним рівнянням, але різним в цих областях фізичним рівнянням (умові текучості в пластичній області) та відповідним граничним умовам. В роботі взято диференціальну (інкрементальну) залежність – неасоційований закон пластичної течії (2):

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}}, \quad F \neq f. \quad (2)$$

де F – потенціал текучості, чи пластичний потенціал, частинна похідна від F по σ_{ij} відповідає приростам пластичних деформацій (2.16) який доповнювався дилатансійним співвідношенням В. М. Ніколаєвського, І. П. Бойка [2,3]:

$$d\varepsilon_{ij}^p = \Lambda(\chi) \cdot d\gamma^p, \quad (3)$$

де $d\gamma^p$ - скалярний еквівалент приросту зсувної пластичної деформації на октаедричній площині;

$d\varepsilon_{ij}^p$ – приріст непружних змін об'єму, що супутні зсуву;

Λ – швидкість дилатансії; χ - параметр зміцнення ґрунтового середовища (прийнято щільність ґрунту ρ).

Прирости компонент повних деформацій згідно з теорією пластичної течії складались із двох складових: зворотніх приростів компонент пружної $d\varepsilon_{ij}^e$ і незворотніх пластичних $d\varepsilon_{ij}^p$ деформацій (4) :

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{ij}^e + d\varepsilon_{ij}^p. \quad (4)$$

Аналітичне визначення умов приходу граничного напружено-деформованого стану базувалось на октаедричних площадках від величини діючих напружень на них $\tau_{окт} = f(\sigma_{окт})$, тобто використано октаедричну теорію міцності Мізеса-Шлейхера-Боткіна [2,3]:

$$\begin{cases} f = T + \sigma_{окт} \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} \leq p_0 \\ f = T + \rho_0 \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} > p_0 \end{cases}, \quad (6)$$

де T – інтенсивність дотичних напружень, $\sigma_{окт}$ – гідростатичний тиск;

ψ – граничний кут тертя на октаедричній площині, аналогічний куту внутрішнього тертя,

τ_s – значення граничних напружень на октаедричній площині при $\sigma_m = 0$;

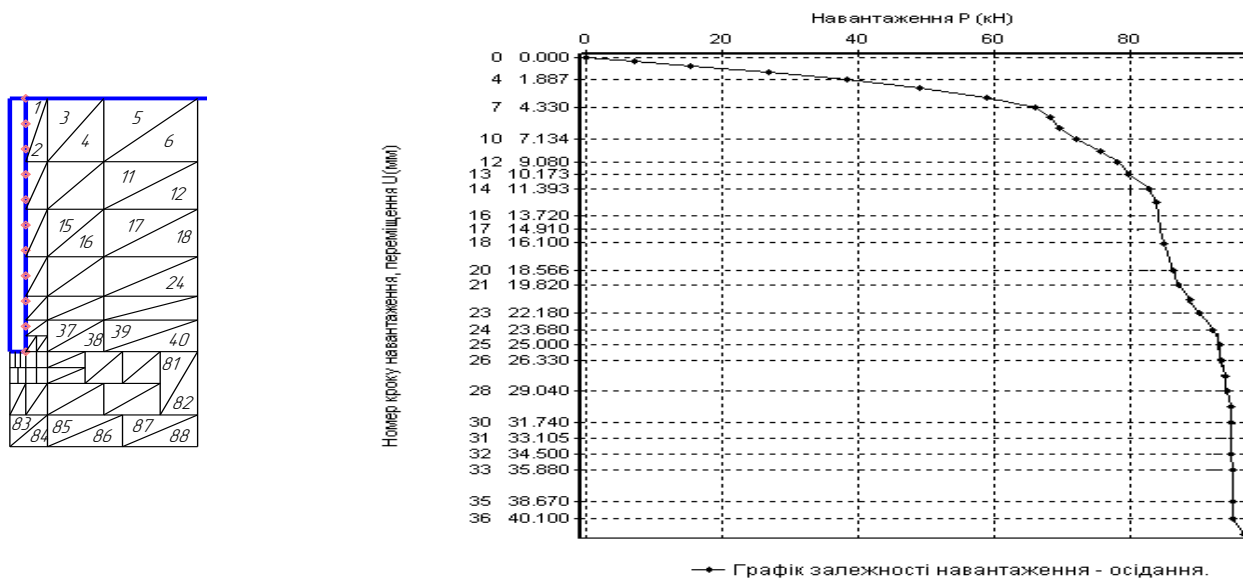
p_0 – величина гідростатичного тиску на девіаторній площині, коли ґрунт працює як суцільне середовище, межа пластичної стисливості [2]

Числові дослідження проводились із наступними середньозваженими фізико-механічними властивостями ґрунту :

$$\rho = 1.7 \text{ т/м}^3, \quad \rho_{dry} = 1.49 \text{ т/м}^3, \quad e = 0.84,$$

$$E = 10.54 \text{ МПа}, \quad \varphi = 24^0, \quad c = 14 \text{ КПа} \quad \varepsilon_{sw} = 0.08, \quad \nu = 0.33.$$

Результати числового моделювання за МГЕ та дискретизацію активної зони наведено на рис. 1 (а, б)



б)

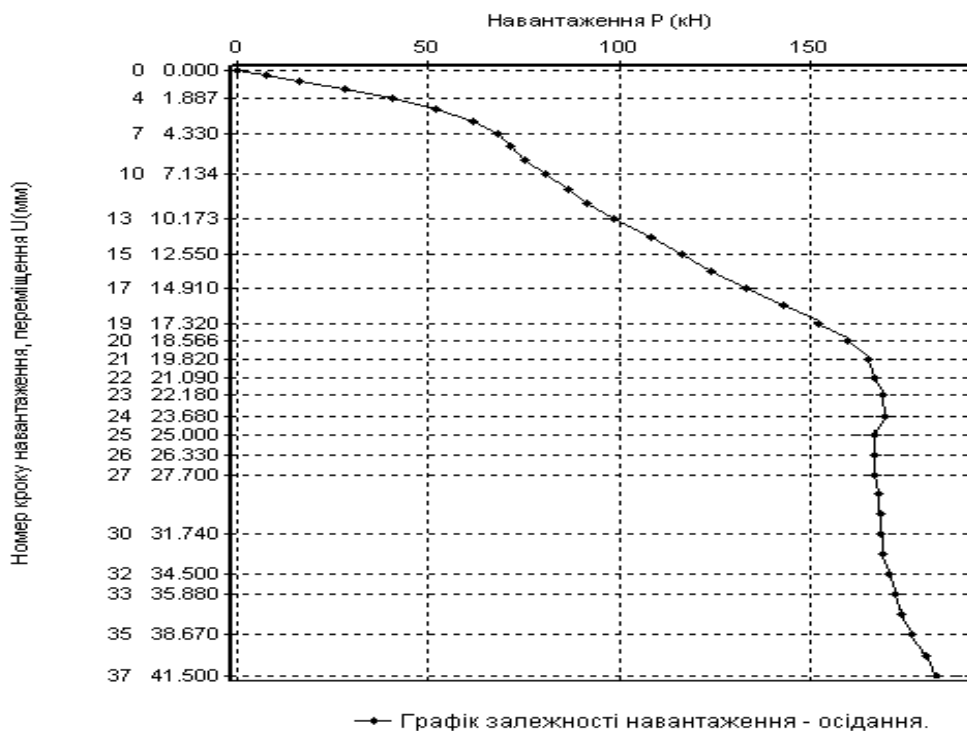


Рис. 1. Графік осідання буронабивних паль підсилення С-4-30, С-4-35 та дискретизація активної зони основи

Висновки

Метод підсилення фундаментів буронабивними палями зарекомендував себе як надійний. Область його застосування відноситься до всіх слабких ґрунтових основ. Підсилення буронабивними палями С-4-35 майже в два рази збільшить результат підсилення в порівнянні з підсиленням С-4-30 оскільки несуча спроможність С-4-30 майже в два рази менша.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моргун А.С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів./А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 С.
3. Ніколаєвський В.Н. Механіка пористих і тріщиноватих середовищ.1984.
2. Бойко І.П. Теоретичні основи проектування пальових фундаментів на пружньо-пластичні основи / І.П. Бойко, Зб. КНУБА “Основи і фундаменти”. – 1985 – №18, С 11-18.
4. Бреббія К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методи граничних елементів. 1987.

Відомості про авторів

Моргун Алла Серафимівна – професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morgunallaS@gmail.com

Записов Дмитро Васильович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця , e-mail: dzapicov@gmail.com

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця , e-mail: andrey.engineer@gmail.com